

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**



О.С. Ковров

**ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ.
МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ**

для студентів спеціальностей 101 «Екологія» та
183 «Технології захисту навколишнього середовища»

Дніпро
НТУ «ДП»
2019

Технології захисту атмосферного повітря. Методичні рекомендації до виконання курсової роботи для студентів спеціальностей 101 «Екологія» та 183 «Технології захисту навколишнього середовища» [Текст] / О.С. Ковров; НТУ «Дніпровська політехніка». – Дніпро: НТУ «ДП», 2019. – 24 с.

Автор:

О.С. Ковров, докт. техн. наук, доц.

Затверджено методичними комісіями з спеціальностей 101 «Екологія» (протокол №2 від 13.02.2019) та 183 «Технології захисту навколишнього середовища» (протокол №2 від 13.02.2019) за поданням кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища (протокол №6 від 13.02.2019).

Подано методичні рекомендації до виконання курсової роботи з дисципліни «Технології захисту атмосферного повітря» для студентів спеціальностей 101 «Екологія» та 183 «Технології захисту навколишнього середовища».

Відповідальний за випуск, завідувач кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища д-р. техн. наук, проф. А.В. Павличенко.

1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Забруднення повітряного басейну промисловими викидами є однією з найбільш актуальних екологічних проблем сьогодення. Для якісного вирішення цієї проблеми необхідно розглядати весь комплекс питань, які вона породжує, це, зокрема, види забруднень атмосфери і їхні властивості, нормування якості повітря й викидів, принципи утворення забруднювачів, зміна складу викидів в атмосфері, фізичні й хімічні процеси газоочищення, конструкція газоочисного устаткування й розробка технологій газоочищення, утилізація вловлених продуктів тощо. При цьому особлива увага приділяється всебічному аналізу й оптимізації діючих газоочисних пристроїв з урахуванням перспектив упровадження нових технологій.

2. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Курсова робота з дисципліни «Технології захисту атмосферного повітря» є важливою складовою фахової підготовки студентів і спрямована на формування вмінь обґрунтовувати ступінь відповідності наявних або прогнозованих екологічних умов завданням збереження та відновлення навколишнього середовища.

Мета курсової роботи полягає в формуванні у майбутніх фахівців (бакалаврів) умінь та компетенцій щодо аналізу різноманітних джерел забруднення атмосферного повітря за техніко-економічними характеристиками, а також кількісно-якісного складу газопилових сумішей, що надходять до атмосфери з урахуванням їх фізико-хімічних властивостей; оцінки доцільності впровадження того чи іншого засобу очистки технологічних газів на промисловому підприємстві; вміння розраховувати газоочисні пристрої та обґрунтовувати комплексні схеми очистки газопилових сумішей з оцінкою їх ефективності та усунених екологічних збитків.

Виконання курсової роботи допоможе студентам розраховувати параметри циклонів та скрубєрів, що є найбільш поширеними в різних промислових галузях, оцінювати доцільність та ефективність їх застосування, обґрунтовувати комплексні схеми газоочищення та екологічні заходи з охорони повітряного середовища, на основі чинних інструкцій аналізувати динаміку викидів-забруднювачів, керуючись при цьому вимогами проекту нормативів гранично допустимого викиду (ГДВ) промислового підприємства, а також контролювати процес забруднення атмосферного повітря.

Задачі роботи:

- ❖ Оцінювати доцільність використання схем газоочистки в залежності від критеріїв вибору пилоуловлюючих пристроїв в технологічних процесах та санітарно-гігієнічних вимог до якості атмосферного повітря на техногенних територіях;

- ❖ Обґрунтовувати доцільність використання пристроїв сухої інерційної та мокрої очистки від пилу;

- ❖ Оцінювати технологічні параметри процесу газоочистки, ефективність, переваги й недоліки, галузь використання, а також альтернативні варіанти

очистки газопилових викидів.

В результаті виконання курсової роботи студенти повинні набути практичні навички з:

- ❖ класифікації схем газоочистки в залежності від критеріїв вибору пилоуловлюючих пристроїв в технологічних процесах та санітарно-гігієнічних вимог до якості атмосферного повітря на промислових підприємствах;
- ❖ володіння основними методами пило- та газоочистки викидів підприємств;
- ❖ розрахунків основних параметрів звичайного циклону і його ефективності, враховуючи фракційний розподіл пилу;
- ❖ розрахунків основних параметрів та ефективності вертикального аерозольного скрубера.

Методичні рекомендації призначені для закріплення теоретичних знань, набутих студентами в лекційному курсі «Технології захисту атмосферного повітря», а також для формування практичних навичок щодо очистки газопилових викидів. Методичні рекомендації містять опис структури курсової роботи, що складається з двох практичних розрахункових завдань, тексти яких викладено за типовою структурною схемою – тема, мета роботи, подання теоретичних положень за темою та завдання на розрахункову роботу.

3. СТРУКТУРА КУРСОВОЇ РОБОТИ

Курсова робота подається до захисту у вигляді пояснювальної записки, що складається з титульного аркуша, завдання, змісту, вступу, розділів, згідно з пунктами завдання, висновку та списку використаної літератури.

Текст пояснювальної записки набирається на комп'ютері в текстовому редакторі Word Office на листах формату А4 (210x297 мм), через один інтервал, шрифтом Times New Roman 14 кегля (всі поля – 20 мм). Абзацний відступ – 1 см. Обсяг пояснювальної записки має становити 20...30 сторінок. Назви розділів наводяться заголовними буквами, жирно, вирівнювання по центру без переносів. Назви підрозділів – малими буквами, жирно, вирівнювання по центру без переносів. Між назвами розділів (підрозділів) та їх текстом – інтервал. Текст вирівнюється за шириною сторінки.

Курсова робота повинна включати такі складові:

Вступна частина:

- титульний аркуш (Додаток А);
- зміст;
- вступ;

Основна частина (назви розділів відповідно до завдань):

- відповідь на два теоретичних питання згідно варіанту з Додатку Б;
- розрахунки параметрів звичайного циклону (див. табл. 6.1) і його ефективність, враховуючи фракційний розподіл пилу (табл. 6.2);
- розрахунки ефективності вертикального аерозольного скрубера;

Висновки.

Перелік літературних джерел.

Додатки.

Рекомендований зміст курсової роботи наведено в табл. 4.1.

4. ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Виконання курсової роботи студентами-бакалаврами передбачає проведення ними теоретичних (розрахунково-аналітичних) досліджень щодо обґрунтування технології двоступеневої очистки газопилових викидів та розрахунки основних параметрів циклонів та аерозольних скрубєрів.

Курсова робота виконується паралельно із засвоєнням курсу «Технології захисту атмосферного повітря». Для виконання курсової роботи студенти отримують варіант роботи відповідно до номеру групи та порядкового номеру студента в журналі кожної з груп (спочатку студенти першої, а потім другої групи) або за рекомендацією викладача.

Таблиця 4.1 – Зміст курсової роботи та рекомендований обсяг розділів пояснювальної записки

Назва розділів	Кількість сторінок
Титульний аркуш (додаток А)	1
Зміст	1
Вступ (актуальність теми, мета й завдання роботи)	1...2
Теоретичний розділ. Аналіз виробничої діяльності промислового підприємства, загальна характеристика валових викидів в атмосферу, існуючих газоочисних споруд технології очистки газопилових викидів.	2...3
Технологічний розділ. Обґрунтування двоступеневої системи газоочистки, що дозволяє максимально знизити викид твердих часток пилу, а також газоподібних речовин в атмосферу.	3...8
Розрахунково-аналітичний розділ. Розрахунок циклону та аерозольного скрубєру.	10...15
Висновки	2...3
Перелік літературних джерел	1
Додатки	1...2

Робота виконується з метою опрацювання викладеного теоретичного і практичного матеріалу з дисципліни.

Курсова робота, яку виконує студент, повинна бути надана викладачеві на перевірку в електронному вигляді. Друкується тільки титульний аркуш роботи (додаток А).

Роботу необхідно здати за два тижні до завершення теоретичного курсу. Завідувач кафедри призначає дату та час захисту курсової роботи.

Для захисту курсової роботи студент повинен вільно володіти всім обсягом її матеріалу. Виконання цієї вимоги перевіряється постановкою контрольних питань в рамках всього обсягу роботи, зауваження по яких разом з певними попередніми зауваженнями по роботі викладач наводить у письмовому вигляді на зворотній стороні роздрукованого титульного аркушу, що слугує додатковою підставою для оцінювання курсової роботи.

5. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

5.1. Технології очистки газових викидів

Способи очищення викидів в атмосферу від шкідливих речовин можна об'єднати в такі групи:

- очищення викидів від пилу та аерозолів шкідливих речовин;
- очищення викидів від газоподібних шкідливих речовин;
- зниження забруднення атмосфери відхідними газами від двигунів внутрішнього згорання транспортних засобів та стаціонарних установок;
- зниження забруднення атмосфери в процесі транспортування, навантаження та вивантаження сипких вантажів.

Механічні методи застосовують для очищення вентиляційних та інших газових викидів від грубодисперсного пилу. Основними механізмами осадження завислих частинок є дія сил гравітації, інерції, дифузії, а також відцентрових сил та сил зчеплення.

Осадження під дією сил гравітації (седиментація) зумовлено вертикальним осіданням частинок внаслідок дії сили ваги в процесі переміщення їх через газоочисний апарат.

Осадження під дією відцентрової сили відбувається в процесі криволінійного руху аеродинамічного потоку, коли виникають відцентрові сили, під дією яких частинки пилу відкидаються на внутрішню поверхню апарату.

Інерційне осадження відбувається у випадку, коли маса частинок або швидкість руху настільки незначні, що вони вже не можуть рухатися разом з газом за лінію течії, що охоплює перешкоду. Намагаючись за інерцією продовжувати свій рух, частинки пилу стикаються з перешкодою і осаджуються на ній.

Дифузійне осадження відбувається внаслідок того, що дрібні частинки пилу зазнають безперервної взаємодії з частинками газів, які знаходяться в броунівському русі. В результаті цієї взаємодії відбувається осадження частинок на поверхні обтічних тіл або стінок пиловловлювача.

Осадження частинок за рахунок зчеплення спостерігається тоді, коли відстань від частинки, що рухається у газовому потоці, до обтічного тіла, не перевищує її радіус.

В технологічних вентиляційних та енергетичних викидах на підприємствах найбільш часто зустрічаються диоксид сірки, оксиди азоту, оксид та діоксид вуглецю, сірководень, хлор, хлористий водень, пари ртуті, фенолів, синтетичних та лакофарбних матеріалів тощо.

Методи очищення викидів від газоподібних речовин за характером фізико-хімічних процесів з середовищами, які очищуються, поділяються на групи:

- промивання викидів розчинниками, що не вступають в хімічну взаємодію з забруднювачами (метод абсорбції);
- промивання викидів розчинами, які вступають в хімічну взаємодію з забруднювачами (метод хемосорбції);
- поглинання газоподібних забруднювачів твердими активними

речовинами (метод адсорбції).

На шахтних котельнях в якості газоочистки встановлюються, як правило поодинокі або батарейні циклони для уловлювання твердих частинок пилу. При цьому, загальна ефективність очищення не перевищує 70-80% для одиночних циклонів і 85% – для батарейних пиловловлювачів. Також при сухій інерційній очистці газоподібні сполуки, такі як сірчистий ангідрид (SO_2), оксиди азоту (NO_2 , N_2O , NO , N_2O_5), сірководень (H_2S), окис і двоокис вуглецю (CO , CO_2) не уловлюються, що є істотним недоліком газоочистки.

Одним з найбільш доцільних в екологічному сенсі технологій газоочистки на котельнях є використання двох ступенів очистки: групових або батарейних циклонів та аерозольних скрубєрів (рис. 5.1). Застосування такої комбінованої схеми дозволить не тільки вловлювати дрібні частки пилу, а також газоподібні речовини, що утворюються внаслідок спалювання органічного палива.

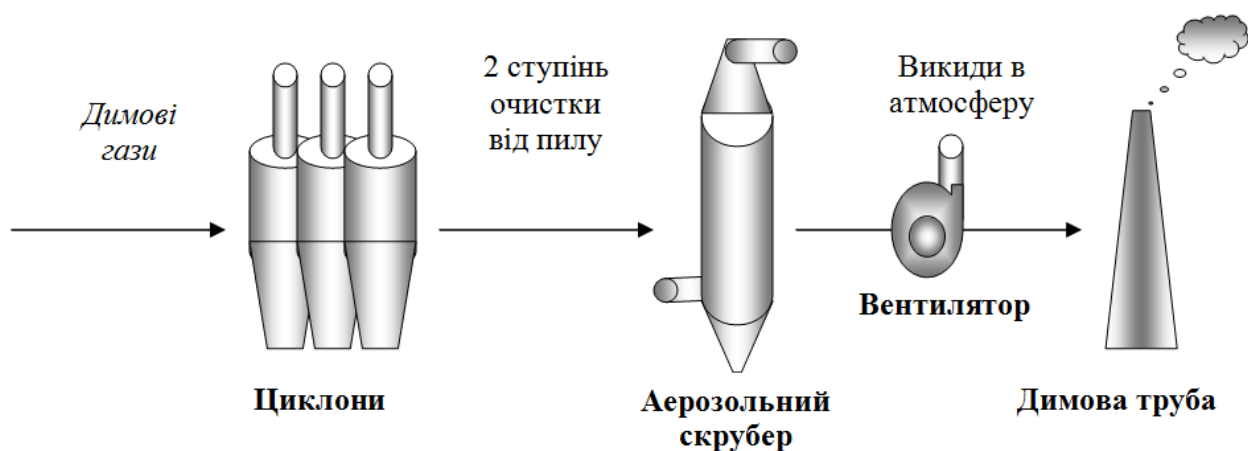


Рис. 5.1 – Схема двоступеневої очистки газів котельні

5.2. Циклони

Циклони завдяки простоті будови та обслуговування, порівняно невеликому гідравлічному опору й високій продуктивності є найпоширенішими апаратами сухого механічного пиловловлювання.

На рис. 5.2 подано схему циклона та зображено напрямки потоків повітря в ньому. Запилене повітря з великою швидкістю вводиться тангенціально в апарат. Сформований тут обертовий потік спускається по кільцевому простору (утвореному циліндричною частиною циклона й вихлопною трубою) в його конічну частину, а потім, продовжуючи обертатися, виходить через вихлопну трубу. Частинки, маса яких достатньо велика, відділяються від потоку, досягають стінок циклона і під дією гравітаційних та відцентрових сил опускаються в його бункер. Чим більші частинки, завислі в потоці, і чим інтенсивніший (у відомих межах) обертовий рух, тим ефективніше очищується газ.

Залежно від конструктивного виконання в циклонах може бути по-різному влаштовано підведення запиленого газу (наприклад, тангенціальне, тангенціальне похиле, спіральне, осьове із спрямовувальним апаратом) форма корпусу циклонів теж може бути різною (циліндрична, така, що переходить у

конус, з переважно розвинутою конічною частиною, конічна, з розширеною конічною частиною, з подвійною стінкою).

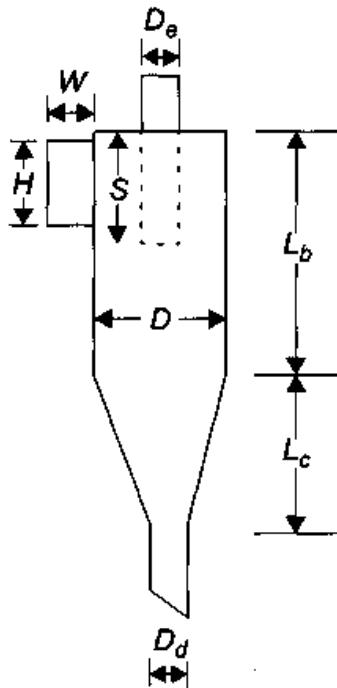


Рис. 5.2 – Принципова схема будови циліндричного циклона:

- D – діаметр циліндричної частини;
- D_e – діаметр газовипускного патрубку;
- D_d – діаметр бункерної частини;
- H – висота впускної труби;
- L_b – довжина циліндричної частини;
- L_c – довжина конічної частини;
- S – довжина випускного газоходу всередині циклона;
- W – ширина вхідного газоходу

Умовні розміри циклонів, визначені за методикою Лапле, наведено в табл. 5.1. Вибір розміру й типу циклона залежить від параметрів витрати газової суміші, ефективності газоочищення, фракційного розподілу частинок та інших величин.

Газовий потік надходить у циклон тангенціально, унаслідок чого виникає ефект вихору. Скільки обертів робить при цьому частинка пилу, можна визначити за такою формулою:

$$N_e = \frac{1}{H} \left[L_b + \frac{L_c}{2} \right], \quad (5.1)$$

де H – висота впускної труби, м; L_b – довжина циліндричної частини циклона, м; L_c – довжина конічної частини циклона, м.

Час, протягом якого газ перебуває у вихровому потоці:

$$\Delta t = \frac{2\pi R N_e}{V_i}, \quad (5.2)$$

де R – радіус циліндричної частини циклона, м; V_i – початкова швидкість газового потоку, м/с, що розраховується таким чином:

$$V_i = \frac{M}{W \cdot H}, \quad (5.3)$$

де M – витрата суміші, м³/с; W та H – ширина й висота впускної труби відповідно, м².

Унаслідок дії відцентрової сили розвивається максимальна швидкість частинки в газовому потоці, коли відцентрова сила дорівнює силі тертя.

Таблиця 5.1 – Фізичні розміри відцентрованих циклонів

Показник	Тип циклона		
	Високоєфективний	Звичайний	Високопродуктивний
Діаметр циліндричної частини D , м	1,0	1,0	1,0
Висота впускної труби H , м	$0,44D$	$0,5D$	$0,75D$
Ширина впускної труби W , м	$0,2D$	$0,25D$	$0,35D$
Діаметр газовипускного патрубку D_e , м	$0,4D$	$0,5D$	$0,75D$
Довжина випускного газоходу в циклоні S , м	$0,5D$	$0,6D$	$0,85D$
Довжина циліндричної частини L_b , м	$1,5D$	$2,0D$	$1,7D$
Довжина конічної частини L_c , м	$2,5D$	$2,0D$	$2,0D$
Діаметр бункерної частини D_d , м	$0,4D$	$0,25D$	$0,375D$

Найбільша відстань, яку частинка проходить у циклоні з максимальною швидкістю, дорівнює ширині вхідного газоходу W . Таким чином, максимальна швидкість переміщення частинки в радіальному напрямку:

$$V_t = \frac{W}{\Delta t}, \text{ м/с.} \quad (5.4)$$

Швидкість будь-якої частинки газового потоку може бути подана таким виразом:

$$V_t = \frac{d_p^2 (\rho_n - \rho_g) V_i^2}{18 \mu R}, \text{ м/с} \quad (5.5)$$

де d_p – діаметр частинок, м; ρ_n – щільність частинок пилю, кг/м^3 ; ρ_g – густина газу, кг/м^3 ; μ – коефіцієнт опору середовища, $\text{кг/(м}\cdot\text{с)}$. Підставивши рівняння (5.2) у вираз (5.4) та зрівнюючи між собою вирази (5.4) й (5.5), отримаємо формулу (5.6) для визначення діаметра частинок пилю, що вловлюються циклоном, тобто:

$$d_p = \sqrt{\frac{9 \mu W_t}{\pi N_e V_i (\rho_p - \rho_g)}}. \quad (5.6)$$

Теоретично величина d_p являє собою діаметр найменшої частинки, що вловлюється в циклоні, а значить будь-які частинки більшого розміру начебто повинні вловлюватися на 100 %. Однак на практиці досягти цього не можливо.

З метою отримання більш точного результату використовують напівемпіричну формулу Лапле для розрахунку діаметра частинок пилю, які вловлюються на 50 %, а саме:

$$d_{pc} = \sqrt{\frac{9 \mu W}{2 \pi N_e V_i (\rho_n - \rho_g)}}. \quad (5.7)$$

Ефективність уловлювання частинок будь-якого розміру обчислюють за формулою:

$$\eta_j = \frac{1}{1 + \left(\frac{d_{pc}}{d_{pj}} \right)^2}, \quad (5.8)$$

де η_j – ефективність уловлювання частинок j -го розміру, %, d_{pj} – діаметр частинок, м.

Загальна ефективність пиловловлювання в циклоні $\eta_{заг}$, %, являє собою суму значень ефективності вловлювання частинок різних фракцій, а саме:

$$\eta_{заг} = \sum_{j=1}^n \eta_j \cdot m_j, \quad (5.9)$$

де m_j – масовий вміст частинок пилу j -го розміру, % [4].

Отже, викид в атмосферу частинок пилу після проходження пилогазової суміші через циклон розраховують таким чином:

$$P = 100 - \eta_o, \%. \quad (5.10)$$

Приклад розв'язування типової задачі

Визначити загальну ефективність вискоефективного циклона, діаметр циліндричної частини якого $D=0,2$ м, беручи до уваги такі параметри: витрата газової суміші $M=250$ м³/год; орієнтовна швидкість руху газового потоку $V_i=1200$ м/хв; коефіцієнт опору середовища $\mu=0,075$ кг/(м·год.); густина газу $\rho_g=1,01$ кг/м³; щільність частинок пилу $\rho_p=1600$ кг/м³ (їх фракційний розподіл відображено в табл. 5.2).

Розв'язування

1. Фізичні розміри складових частин циклону визначають залежно від величини діаметра його циліндричної частини D (табл. 5.3).

2. Визначимо кількість ефективних обертів, які робить частинка:

$$N_e = \frac{1}{H} \left[L_b + \frac{L_c}{2} \right] = \frac{1}{0,088} \left[0,3 + \frac{0,5}{2} \right] = 6,25.$$

3. Початкова швидкість газового потоку на вході в циклон:

$$V_i = \frac{M}{W \cdot H} = \frac{250 \text{ м}^3 / \text{ч}}{0,04 \text{ м} \cdot 0,088 \text{ м}} = \frac{250 \text{ м}^3 / \text{ч}}{0,00352 \text{ м}^2} = 1200 \text{ м/хв}.$$

4. Обчислюємо діаметр частинок, які вловлюються циклоном, таким чином:

$$d_p = \sqrt{\frac{9\mu W}{\pi N_e V_i (\rho_p - \rho_g)}} = \sqrt{\frac{9 \cdot 0,075 \cdot 0,04}{3,14 \cdot 6,25 \cdot 72000 \cdot (1600 - 1)}} = 3,46 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 3,46 \text{ мкм}.$$

5. Розраховуємо розмір частинок, які вловлюються даним циклоном на 50 %, а саме:

$$d_{pc} = \sqrt{\frac{9\mu W}{2\pi N_e V_i (\rho_p - \rho_g)}} = \sqrt{\frac{9 \cdot 0,075 \cdot 0,04}{2 \cdot 3,14 \cdot 6,25 \cdot 72000 \cdot (1600 - 1)}} = 2,44 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 2,44 \text{ мкм}.$$

Таблиця 5.2 – Фракційний розподіл частинок пилу у викидах

Розмір частинок пилу, мкм	Середнє значення розміру частинок пилу, d_{pj} , мкм	Вміст частинок пилу у викидах, m_j , % від маси
0 ... 5	2,5	12
5 ... 10	7,5	15
10 ... 20	15,0	22
20 ... 30	25,0	15
30 ... 40	35,0	11
40 ... 50	45,0	9
50 ... 60	55,0	7
60 ... 70	65,0	5
70 ... 80	75,0	3
75 ... 100	87,5	1

Таблиця 5.3 – Фізичні розміри складових частин циклона

Показники	Відносні значення	Абсолютні значення, м
Діаметр в циліндричній частини, D	1	0,2
Висота впускної труби, H	$0,44D$	0,088
Ширина впускної труби, W	$0,2D$	0,04
Діаметр газовипускного патрубку, D_e	$0,4D$	0,08
Довжина випускного газоходу всередині циклона, S	$0,5D$	0,1
Довжина циліндричної частини, L_b	$1,5D$	0,3
Довжина конічної частини, L_c	$2,5D$	0,5
Діаметр бункерної частини, D_d	$0,4D$	0,08

5. Визначаємо ефективність уловлювання частинок усіх розмірів, виконавши такі обчислення:

$$\eta_j = \frac{1}{1 + \left(\frac{d_{pc}}{d_{pj}}\right)^2} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2,44}{2,5}\right)^2} = 0,5112 \quad (\text{для частинок діаметром } 2,5 \text{ мкм});$$

$$\eta_j = \frac{1}{1 + \left(\frac{d_{pc}}{d_{pj}}\right)^2} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2,44}{7,5}\right)^2} = 0,9040 \quad (\text{для частинок діаметром } 7,5 \text{ мкм});$$

$$\eta_j = \frac{1}{1 + \left(\frac{d_{pc}}{d_{pj}}\right)^2} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2,44}{15}\right)^2} = 0,9741 \quad (\text{для частинок діаметром } 15 \text{ мкм});$$

$$\eta_j = \frac{1}{1 + \left(\frac{d_{pc}}{d_{pj}}\right)^2} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2,44}{25}\right)^2} = 0,9905 \quad (\text{для частинок діаметром } 25 \text{ мкм});$$

$$\eta_j = \frac{1}{1 + \left(\frac{d_{pc}}{d_{pj}}\right)^2} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2,44}{35}\right)^2} = 0,9951 \quad (\text{для частинок діаметром 35 мкм});$$

$$\eta_j = \frac{1}{1 + \left(\frac{d_{pc}}{d_{pj}}\right)^2} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2,44}{45}\right)^2} = 0,9971 \quad (\text{для частинок діаметром 45 мкм});$$

$$\eta_j = \frac{1}{1 + \left(\frac{d_{pc}}{d_{pj}}\right)^2} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2,44}{55}\right)^2} = 0,9980 \quad (\text{для частинок діаметром 55 мкм});$$

$$\eta_j = \frac{1}{1 + \left(\frac{d_{pc}}{d_{pj}}\right)^2} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2,44}{65}\right)^2} = 0,9986 \quad (\text{для частинок діаметром 65 мкм});$$

$$\eta_j = \frac{1}{1 + \left(\frac{d_{pc}}{d_{pj}}\right)^2} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2,44}{75}\right)^2} = 0,9989 \quad (\text{для частинок діаметром 75 мкм});$$

$$\eta_j = \frac{1}{1 + \left(\frac{d_{pc}}{d_{pj}}\right)^2} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2,44}{87,5}\right)^2} = 0,9992 \quad (\text{для частинок діаметром 87,5 мкм}).$$

6. Визначаємо загальну ефективність циклона таким чином:

$$\begin{aligned} \eta_o &= \sum_{j=1}^n \eta_j \cdot m_j = \sum_{j=1}^n 0,5112 \cdot 12 + 0,9040 \cdot 15 + 0,9741 \cdot 22 + 0,9905 \cdot 15 + \\ &+ 0,9951 \cdot 11 + 0,9971 \cdot 9 + 0,9980 \cdot 7 + 0,9986 \cdot 5 + 0,9989 \cdot 3 + 0,9992 \cdot 1 = \\ &= 6,13 + 13,56 + 21,43 + 14,86 + 10,95 + 8,97 + 6,99 + 4,99 + 3,00 + 1,00 = 91,88 \%. \end{aligned}$$

Отже, в атмосферу надходить така частка пилу:

$$P = 100 - 91,88 = 8,12 \% .$$

Результати обчислень зводимо в табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – Результати розрахунків ефективності циклона

j	d_{pj}	m_j	d_{pc}	d_{pc}/d_{pj}	n_j	$n_j \cdot m_j$
1	2,5	12	2,44	0,978	0,5112	6,13
2	7,5	15	2,44	0,326	0,9040	13,56
3	15	22	2,44	0,163	0,9741	21,43
4	25	15	2,44	0,098	0,9905	14,86
5	35	11	2,44	0,070	0,9951	10,95
6	45	9	2,44	0,054	0,9971	8,97
7	55	7	2,44	0,044	0,9980	6,99
8	65	5	2,44	0,038	0,9986	4,99
9	75	3	2,44	0,033	0,9989	3,00
10	87,5	1	2,44	0,028	0,9992	1,00
					Σ	91,88

Таким чином, розрахункова ефективність пиловловлювання циклона та вміст пилу у викиді становлять 91,88% і 8,12% відповідно. Графік ефективності вловлювання циклоном частинок пилу різних фракцій зображено на рис. 5.4.

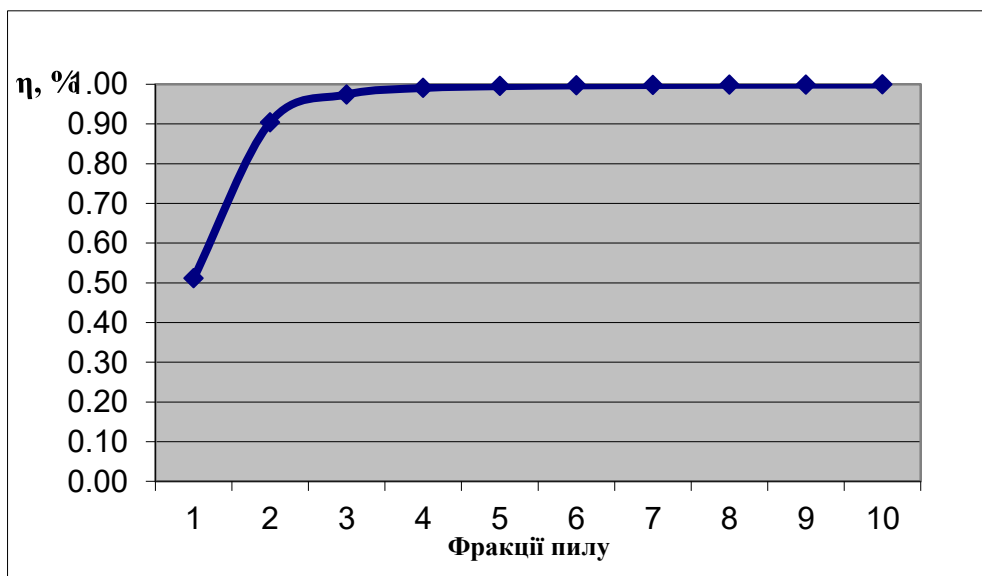


Рис. 5.4 – Залежність ефективності циклону від фракційного складу пилу

5.3. Аерозольні скрубери

В аерозольних скруберах запилені гази пропускають через завісу розпилюваної рідини. При цьому частинки пилу захоплюються краплинами промивної рідини й осаджуються в промивачі, а очищені гази видаляються з апарата. У протитечійному газопромивнику (рис. 5.5) краплини з форсунок подають назустріч запиленому потоку газів. Вони повинні бути настільки великими, щоб не виносились газовим потоком, швидкість якого становить від 0,6 до 1,2 м/с. У разі перевищеної зазначеної межі після газопромивника необхідно встановлювати краплєвловлювач.

Вміст пилу у викиді після очищення в аерозольному скрубєрі (від 0 до 1) обчислюється за такою формулою:

$$Pt_d = \exp\left(-\frac{3Q_L V_{td} z \eta_d}{4Q_G r_d (V_{td} - V_G)}\right) = \exp\left(-\frac{A_d V_{td} \eta_d}{Q_G}\right) \%, \quad (5.11)$$

де Q_L – об'ємна витрата рідини, м³/с; Q_G – об'ємна витрата газу, м³/с; V_G – поверхнева швидкість переміщення газу, см/с; V_{td} – кінцева швидкість осадження крапель рідини, см/с (рис. 5.6); η_d – ефективність уловлювання окремої фракції пилу (від 0 до 1); r_d – радіус крапель, см; z – довжина контактної зони в скрубєрі, см; A_d – площа поверхні всіх крапель у скрубєрі, см², яку визначають за такою формулою:

$$A_d = \frac{3Q_L z}{4r_d (V_{td} - V_G)}. \quad (5.12)$$

Фракційну ефективність уловлювання розраховують таким чином:

$$\eta_d = \left(\frac{K_p}{K_p + 0,7}\right)^2. \quad (5.13)$$

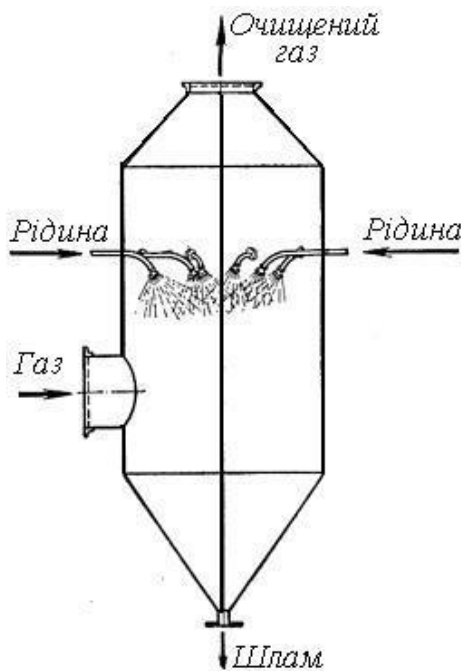


Рис. 5.5 – Схема будови й роботи вертикального аерозольного скрубера

Коефіцієнт K_p , що враховує ефект інерційного зіткнення частинок пилу з краплями рідини, обчислюють за таким співвідношенням:

$$K_p = \frac{C\rho_p d_p^2 V_{p,d}}{9\mu_G d_d} = \frac{\rho_w d_a^2 V_{p,d}}{9\mu_G d_d}, \quad (5.14)$$

де C – поправковий коефіцієнт Каннінгема, безрозмірний (табл. 5.6); ρ_p – щільність частинок, г/см³; d_p – фізичний діаметр частинок, см; $V_{p,d}$ – швидкість руху частинок (по відношенню до крапель), см/с; d_d – діаметр крапель, см; μ_G – опір газового середовища, г/см·с (табл. 5.7); d_a – аеродинамічний діаметр частинки, см; ρ_w – густина води, г/см³.

Таблиця 5.6 – Залежність коефіцієнта Каннінгема C від розміру частинок d_p

d_p , мкм	C	d_p , мкм	C	d_p , мкм	C	d_p , мкм	C
0,01	22,5	0,10	2,89	1,0	1,166	5,0	1,033
0,05	5,02	0,50	1,334	2,0	1,083	10,0	1,017

Примітка. Для частинок пилу, фізичний розмір яких $d_p \geq 10$ мкм, поправковий коефіцієнт Каннінгема $C=1$.

Аеродинамічний діаметр частинки d_a визначається як діаметр сфери, що має таку саму швидкість осадження, як і фізична частинка, щільність якої $\rho_p = \rho_w = 1000$ кг/м³, та розраховується за такою формулою:

$$d_a = \sqrt{\frac{18\mu v_t}{C\rho_w g}} \text{ м}, \quad (5.15)$$

де μ – в'язкість газу, кг/м·с; v_t – гранична швидкість осідання частинки, м/с; ρ_w – густина води, кг/м³; g – гравітаційне прискорення, г/с².

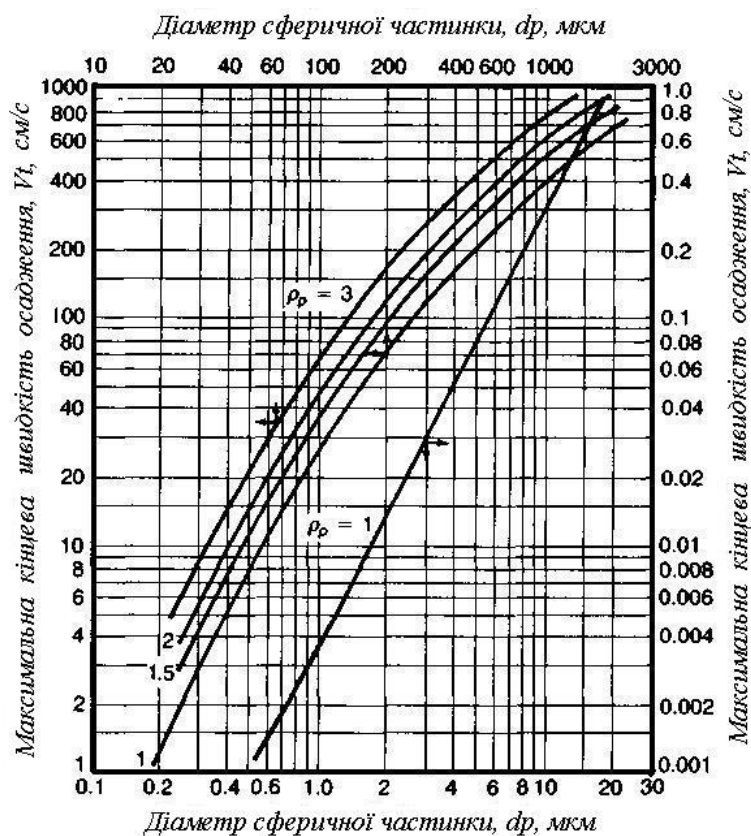


Рис. 5.6 – Значення максимальної швидкості осадження частинок [4]

Таблиця 5.7 – Значення в'язкості повітря залежності від температури

Температура, $t, ^\circ\text{C}$	В'язкість μ		
	фунт/фут·год	кг/м·год	г/см·с
10	0,043	0,064	0,000178
20	0,044	0,065	0,000181
30	0,045	0,067	0,000186
40	0,047	0,070	0,000194
50	0,048	0,071	0,000198
60	0,048	0,071	0,000198
70	0,050	0,074	0,000207
80	0,051	0,076	0,000211
90	0,052	0,077	0,000215
100	0,053	0,079	0,000219

У вертикальних скруберах швидкість переміщення частинок по відношенню до крапель відповідає кінцевій швидкості осадження крапель рідини, тобто $V_{p,d} = V_{t,d}$ [4].

Загальну ефективність скрубера $\eta_{\text{заг}}$, %, можна обчислити за формулою (5.9), а викид в атмосферу частинок пилу P , %, за формулою (5.10).

Приклад розв'язування типової задачі

Задача. Розрахувати вміст фракції пилу розміром 5 мкм у викидах після очищення у вертикальному скрубери за таких технологічних умов: $Q_L/Q_G = 1$ л/м³

або $0,001 \text{ м}^3/\text{м}^3$; поверхнева швидкість газу $V_G=20 \text{ см/с}$; $d_d=300 \text{ мкм}$; $z=300 \text{ см}$; $T=70 \text{ }^\circ\text{C}$; $V_{td}=120 \text{ см/с}$ (визначається за номограмами осадження частинок залежно від їх щільності та діаметра; $\mu_G=0,074 \text{ кг/м} \cdot \text{год}=0,000206 \text{ г/см} \cdot \text{с}$; $\rho_p=1,5 \text{ г/см}^3$).

Розв'язування

1. Визначаємо аеродинамічний діаметр частинок d_a таким чином:

$$d_a = \sqrt{\frac{18\mu v_t}{C\rho_w g}} = \sqrt{\frac{18 \cdot 0,074 \text{ кг/м} \cdot \text{год} \cdot 0,3 \text{ см/с} \cdot 0,01 \text{ см/м}}{3600 \text{ с/год} \cdot 1,033 \cdot 1000 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,81 \text{ м/с}^2}} = \sqrt{\frac{0,003996}{36481428}} =$$

$$\sqrt{1,095 \cdot 10^{-10}} = 1,047 \cdot 10^{-5} \text{ м} = 10,47 \text{ мкм}.$$

2. Обчислюємо значення коефіцієнта K_p , тобто:

$$K_p = \frac{C\rho_p d_p^2 V_{p,d}}{9\mu_G d_d} = \frac{1,033 \cdot 1,5 \text{ г/см}^3 \cdot (0,0005 \text{ см})^2 (120 \text{ см/с})}{9,0 \cdot (0,000206 \text{ г/см} \cdot \text{с}) (0,030 \text{ см})} = \frac{0,000046485}{0,00005562} = 0,84.$$

3. Визначаємо фракційну ефективність скрубера, а саме:

$$\eta_d = \left(\frac{K_p}{K_p + 0,7} \right)^2 = \left(\frac{0,84}{0,84 + 0,7} \right)^2 = 0,298, \text{ тобто } 29,8 \text{ } \%$$

4. Розраховуємо вміст частинок пилу у викиді таким чином:

$$Pt_d = \exp\left(-\frac{3Q_L V_{td} z \eta_d}{4Q_G r_d (V_{td} - V_G)}\right) = \exp\left(-\frac{3(0,001)(120)(300)(0,298)}{4(0,015)(120 - 20)}\right) =$$

$$= 2,718^{\left(-\frac{32,132}{6}\right)} = 2,718^{(-5,355)} = 0,00473 \text{ або } 0,47 \text{ } \%$$

Отже, ефективність уловлювання частинок пилу діаметром 5 мкм становить $99,53\%$.

6. ВАРІАНТИ РОЗРАХУНКОВИХ ЗАВДАНЬ

Контрольне завдання для розрахунку циклону.

1. Розрахувати фракційну й загальну ефективність циклона відповідно до варіанта завдання, наведеного в табл. 6.1, та користуючись даними про їх фракційний розподіл з додатка а. решту параметрів для розрахунку взяти з вихідних даних до розв'язування типової задачі.

Таблиця 6.1 – Вихідні дані для розрахунку параметрів циклона

№ вар.	Діаметр циліндричної частини D , м	Витрати газової суміші, $\text{м}^3/\text{год}$	Щільність частинок пилу P_P , кг/м^3	№ вар.	Діаметр циліндричної частини D , м	Витрати газової суміші, $\text{м}^3/\text{год}$	Щільність частинок пилу P_P , кг/м^3
1	0,6	21000	1550	11	0,9	50000	1600
2	0,7	29000	1600	12	1,0	60000	1650
3	0,8	43000	1650	13	1,1	70000	1680
4	0,9	48000	1680	14	1,2	80000	1700
5	1,0	58000	1700	15	0,6	20000	1600
6	1,1	69000	1600	16	0,7	30000	1680

№ вар.	Діаметр циліндричної частини D , м	Витрати газової суміші, $\text{м}^3/\text{год}$	Щільність частинок пилу P_P , $\text{кг}/\text{м}^3$	№ вар.	Діаметр циліндричної частини D , м	Витрати газової суміші, $\text{м}^3/\text{год}$	Щільність частинок пилу P_P , $\text{кг}/\text{м}^3$
7	1,2	80000	1680	17	0,8	40000	1800
8	0,6	20000	1800	18	0,9	50000	1700
9	0,7	30000	1700	19	1,0	60000	1550
10	0,8	40000	1550	20	1,1	70000	1600

Примітка. 1. Номер варіанта кожен студент обирає за своїм порядковим номером у списку академічної групи.

2. Згідно з отриманими результатами розрахунку побудувати діаграму залежності ефективності циклона від фракційного складу пилу.

3. Визначити частку викидів пилу в атмосферу.

Контрольне завдання для розрахунку аерозольного скрубера

1. Розрахувати загальну ефективність очищення газів в аерозольному скрубери відповідно до варіанта завдання, наведеного в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Вихідні дані для розрахунку аерозольного скрубера

№ вар.	Поверхнева швидкість газу V_G , $\text{см}/\text{с}$	Кінцева швидкість осадження крапель V_{TD} , $\text{см}/\text{с}$	Довжина контактної зони в скрубери Z , см	№ вар.	Поверхнева швидкість газу V_G , $\text{см}/\text{с}$	Кінцева швидкість осадження крапель V_{TD} , $\text{см}/\text{с}$	Довжина контактної зони в скрубери Z , см
1	20	120	300	11	25	130	320
2	25	125	320	12	30	115	330
3	30	130	330	13	40	110	340
4	15	115	340	14	35	135	350
5	25	110	350	15	30	130	360
6	30	135	360	16	20	125	380
7	40	130	380	17	25	120	300
8	35	125	400	18	30	125	320
9	30	120	280	19	25	130	330
10	20	125	300	20	30	115	340

Примітка. Номер варіанта кожен студент обирає за своїм порядковим номером у списку академічної групи.

7. ВИСНОВКИ

У цьому розділі курсової роботи рекомендовано:

- обґрунтувати доцільність впровадження запропонованої технологічної схеми двоступеневої очистки викидів від промислової котельні, що працює на органічному паливі;

- представити основні результати розрахунків двоступеневої очистки викидів, що складається з відцентрового циклону та аерозольного скрубера;

- оцінити перспективи щодо впровадження альтернативних технологій захисту атмосферного повітря на промисловій котельні.

8. ОФОРМЛЕННЯ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ

Пояснювальна записка повинна містити: титульний аркуш із зазначенням автора роботи та викладача, що її перевірів (додаток А), завдання, зміст, вступ (готується студентом самостійно з використанням літературних джерел і повинен стосуватися питань застосування технологій захисту атмосферного повітря на підприємствах гірничопромислового комплексу), розділи згідно пунктів завдання з усіма викладеннями, розрахунками і поясненнями до них з короткими висновками у кожному розділі. В кінці пояснювальної записки подаються загальний висновок (стисло викладаються результати за всіма пунктами завдання), а також список використаної літератури.

9. КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Робота оцінюється на **відмінно**: якщо студент виконав розрахунки згідно з усіма пунктами методичних вказівок; в пояснювальній записці немає помилок, а відповіді студента на запитання під час захисту виявилися повними і змістовними.

Робота заслуговує на оцінку **добре** тоді, коли студент виконав розрахунки згідно з усіма пунктами методичних вказівок, але в пояснювальній записці виявилися несуттєві помилки або неточності; відповіді студента на запитання під час захисту виявилися стислими.

Робота оцінюється на **задовільно**: якщо студент виконав розрахунки згідно з усіма пунктами методичних вказівок, але без пояснень, а в пояснювальній записці виявилися помилки; відповіді студента на запитання під час захисту виявилися недостатньо обґрунтованими або не вірними.

10. КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Опишіть схему будови відцентрового циклона та принцип його роботи.
2. Поясніть необхідність врахування фракційного розподілу пилу в практиці очищення газопилових викидів.
3. Назвіть основні галузі й напрями використання апаратів сухого очищення газів від механічних частинок пилу.
4. Охарактеризуйте фізико-механічні властивості пилу.
5. Чому недоцільно використовувати циклони для вловлювання дрібнодисперсних частинок пилу розміром менше 10 мкм?
6. Які альтернативні технології очистки від пилу доцільно використовувати на підприємствах гірничо-металургійного комплексу?
7. Опишіть схему аерозольного скрубера та принцип його роботи.
8. У чому полягає перевага аерозольних скрубєрів перед апаратами сухого очищення газів?

9. Назвіть основні сфери й напрями використання апаратів мокрого очищення газів від механічних частинок пилу.

11. ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Алиев Г.М. Устройство и обслуживание газоочистительных и пылеулавливающих установок - М.: Metallurgiya, 1983.

2. Алиев Г.М. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов. М.: Metallurgiya, 1986. – 544 с.

3. Антошкина Л.И., Беляев Н.Н., Долина Л.Ф. Загрязнение воздушной среды: Моделирование, прогноз, защита: монографія. – Днепропетровск: Наука и образование, 2008. – 211 с.

4. Бакка М.Т., Дорощенко В.В. Очисні споруди і пристрої. – Житомир: 2005. – 180 с.

5. Бережной С.А., Седов Ю.С. Сборник типовых расчетов и заданий по экологии: Уч. пособие. – Тверь: ТГТУ, 1999.

6. Денисов С.И. Улавливание и утилизация пылей и газов – М.: Metallurgiya, 1991.

7. Дубальская Э.Н. Очистка отходящих газов – М., 1991.

8. Закон України „Про охорону атмосферного повітря” від 16 жовтня 1992 року № 2707-ХІІ (В редакції Закону № 2556-ІІІ (2556-14) від 21.06.2001).

9. Методы расчета и повышения эффективности очистки циклонных пылеуловителей Приемов С.И. – Киев: Кафедра, 2014. – 128 с.

10. Николин А.Г., МатлакЕ.С. Охрана окружающей среды в угольной промышленности. К.: «Выща школа», 1989.

11. Правила технічної експлуатації установок очистки газа КНД 211. 2. 2. 01– 2006.

12. Природоохоронні технології. Частина 1. Захист атмосфери: навчальний посібник / Северин Л.І., Петрук В.Г., Безвозюк І.І., Васильківський І. В. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 388 с.

13. Бакка М.Т., Дорощенко В.В. Очисні споруди і пристрої. – Житомир: 2005. – 180 с.

14. Контроль запыленості атмосфери гірничих підприємств на основі оптичного лічильно-інтегрального методу: моногр. Колесник В.Є., Юрченко А.А., Чеберячко С.І. – Д.: НГУ, 2013. – 135 с.

15. Антошкина Л.И., Беляев Н.Н., Долина Л.Ф. Загрязнение воздушной среды: Моделирование, прогноз, защита: монографія. – Днепропетровск: Наука и образование, 2008. – 211 с.

16. Методы расчета и повышения эффективности очистки циклонных пылеуловителей Приемов С.И. – Киев: Кафедра, 2014. – 128 с.: ил.

17. Родионов А.И., Клушин В.Н., Торочешников Н.С. Техника защиты окружающей среды – М.: Химия, 1989.

18. Справочник по пыле- и золоулавливанию / М.И. Биргер, А.Ю. Вальдберг, Б.И. Мягков и др.; Под. ред. А.А. Русанова. – М.: Энергия, 1975. – с. 296.

Зразок оформлення титульного аркуша курсової роботи

**Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»**

Гірничий інститут
Кафедра екології та
технологій
захисту навколишнього
середовища

КУРСОВА РОБОТА

з дисципліни “ *ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ* ”

Варіант _____

Виконав: студент гр. _____
(група)

(прізвище та ініціали студента)
Перевірив: _____
(посада, прізвище та
ініціали викладача)

Дніпро
(рік виконання)

ПЕРЕЛІК

теоретичних питань індивідуального завдання

№ варіанта	Теоретичні питання індивідуального завдання
1	1. Класифікація і характеристика домішок, що виділяються в атмосферу. 2. Абсорбційний метод очищення газів.
2	1. Структура і газовий склад атмосфери. Постійні і змінні компоненти атмосфери. 2. Мокрі циклони.
3	1. Механізм «парникового ефекту» і його наслідки 2. Тканинні фільтри.
4	1. Коротка характеристика методів, застосовуваних для уловлювання твердих частинок з газоповітряних сумішей. 2. Адсорбційний метод очищення газів. Суть методу і область його застосування.
5	1. Застосування електрофільтрів для очищення газів. 2. Інерційні апарати очистки.
6	1. Класичний і фотохімічний смог. 2. Контроль і нормування шкідливих викидів. Поняття ГДК, ГДВ.
7	1. Сучасні засоби очистки газів від пилу. 2. Електрофільтри. Принцип роботи та галузь застосування.
8	1. Пиловідсаджувальні камери. 2. Каталітичне знешкодження газів.
9	1. Інерційні жалюзійні пиловловлювачі. 2. Метод спалювання в полум'ї.
10	1. Метод каталітичного очищення газів. 2. Підприємства - основні забруднювачі атмосфери.
11	1. Принципова схема циклону і його робота. 2. Якість повітряного середовища в Україні.
12	1. Апарати мокрого очищення. 2. Фізико-механічні властивості пилу.
13	1. Скрубери. 2. Абсорбційний метод очищення газів.
14	1. Основні критерії вибору і обґрунтування комплексних схем очищення газопилових викидів. 2. Барботажні абсорбери.
15	1. Критерії вибору пилоуловлюючих пристроїв. 2. Природне і штучне забруднення повітряного середовища.
16	1. Фільтрація. Принцип дії, недоліки і переваги. 2. Метод спалювання в полум'ї
17	1. Циклони з водяною плівкою. 2. Основні речовини, що надходять з викидами в атмосферу.
18	1. Основні критерії вибору і обґрунтування комплексних схем очищення газопилових викидів. 2. Коротка характеристика методів, застосовуваних для уловлювання твердих частинок з газоповітряних сумішей.

№ варіанта	Теоретичні питання індивідуального завдання
19	1. Турбулентний та ламінарний режими руху газів в апаратах газоочистки. 2. Основні речовини, що надходять з викидами в атмосферу.
20	1. Метод фільтрації для очищення викидів. 2. Пиловідсаджувальні камери.

Додаток В

Вихідні дані для розрахунків циклону

№ вар.	Діаметр циліндр. частини циклону, D , м	Витрата газо- повітряної суміші M , м ³ /ч	Коефіцієнт в'язкості μ , кг/м·год.	Щільність	
				газу, ρ_g , кг/м ³	часток, ρ_p , кг/м ³
1	0,6	21000	0,075	1,01	1550
2	0,7	29000	0,075	1,02	1600
3	0,8	43000	0,075	1,03	1650
4	0,9	48000	0,075	1,01	1680
5	1,0	58000	0,075	1,02	1700
6	1,1	69000	0,075	1,03	1600
7	1,2	80000	0,075	1,01	1680
8	0,6	20000	0,075	1,02	1800
9	0,7	30000	0,075	1,03	1700
10	0,8	40000	0,075	1,01	1550
11	0,9	50000	0,075	1,02	1600
12	1,0	60000	0,075	1,03	1650
13	1,1	70000	0,075	1,01	1680
14	1,2	80000	0,075	1,02	1700
15	0,6	20000	0,075	1,03	1600
16	0,7	30000	0,075	1,01	1680
17	0,8	40000	0,075	1,02	1800
18	0,9	50000	0,075	1,03	1700
19	1,0	60000	0,075	1,01	1550
20	1,1	70000	0,075	1,02	1600

Вихідні дані для розрахунків вертикального аерозольного скрубера

№ вар.	Питома витрата рідини, Q_L/Q_G , м ³ /м ³	Поверхнева швидкість газу V_G , см/с	Кінцева швидкість осадження крапель, V_{td} , см/с	Опір газового середовища, μ_G , г/см-с	Довжина контактної зони в скрубери, z , см	Діаметр крапель, d_d , см
1	0,001	20	120	0,00018	300	300
2	0,002	25	125	0,00020	320	300
3	0,003	30	130	0,00022	330	300
4	0,004	15	115	0,00018	340	300
5	0,001	25	110	0,00020	350	300
6	0,002	30	135	0,00022	360	300
7	0,001	40	130	0,00025	380	300
8	0,002	35	125	0,00018	400	300
9	0,001	30	120	0,00020	280	300
10	0,002	20	125	0,00022	300	300

№ вар.	Питома витрата рідини, Q_L/Q_G , $\text{м}^3/\text{м}^3$	Поверхнева швидкість газу V_G , см/с	Кінцева швидкість осадження крапель, V_{id} , см/с	Опір газового середовища, μ_G , г/см-с	Довжина контактної зони в скрубери, z , см	Діаметр крапель, d_d , см
11	0,003	25	130	0,00025	320	300
12	0,004	30	115	0,00015	330	300
13	0,001	40	110	0,00018	340	300
14	0,002	35	135	0,00020	350	300
15	0,001	30	130	0,00022	360	300
16	0,002	20	125	0,00025	380	300
17	0,003	25	120	0,00015	300	300
18	0,004	30	125	0,00018	320	300
19	0,001	25	130	0,00020	330	300
20	0,002	30	115	0,00022	340	300

З М І С Т

1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ.....	3
2. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ.....	3
3. СТРУКТУРА КУРСОВОЇ РОБОТИ.....	4
4. ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ.....	5
5. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	6
5.1. Технології очистки газових викидів.....	6
5.2. Циклони.....	7
5.3. Аерозольні скрубери.....	13
6. ВАРІАНТИ РОЗРАХУНКОВИХ ЗАВДАНЬ.....	16
7. ВИСНОВКИ.....	17
8. ОФОРМЛЕННЯ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ.....	18
9. КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ.....	18
10. КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ.....	18
11. ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	19
Додаток А.....	20
Додаток Б.....	21
Додаток В.....	22

КОВРОВ Олександр Станіславович

**ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ.
МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ**

для студентів спеціальностей 101 «Екологія» та
183 «Технології захисту навколишнього середовища»

Друкується в редакційній обробці авторів

Підписано до друку 15.03.2019. Формат 30 x 42/4.
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 1,3.
Обл.-вид. арк. 1,3. Тираж 30 прим. Зам. №

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19.